

ارتباط ضریب رواناب لحظه‌ای با تراز سطح ایستابی و مکانیسم کاهش جریان در طول رودخانه (مطالعه موردی: حوضه عجب‌شیر)

اسرا عصری^{۱*}، احمد فاخری فرد^۲، یعقوب دین پژوه^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۱۹

^۱-دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲-استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: asrasry@gmail.com

چکیده

امروزه کمبود آب و خشکسالی‌های پی‌درپی در کشورهای خاورمیانه از جمله ایران مشکلات زیادی را برای ساکنین این مناطق به وجود آورده است. مشکل خشک شدن دریاچه نمکی ارومیه و تبعات آن از مهم‌ترین مشکلات روز در صنعت منابع آب ایران و خاورمیانه است. از عوامل بحران دریاچه ارومیه، کاهش سهم جریان ورودی از رودخانه‌های منتهی به دریاچه در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب، در طی چند دهه گذشته است. از آنجایی که سیستم آبخوان- رودخانه دو جزء لاینفک محسوب می‌شود، بنابراین بررسی ارتباط تغییرات ضریب رواناب رودخانه با تراز سطح ایستابی آبخوان برای پیش‌بینی رواناب امری ضروری است. در این مطالعه ارتباط ضریب رواناب لحظه‌ای (رویدادها) با تراز سطح ایستابی در دو ایستگاه هیدرومتری واقع بر ابتدا و انتهای رودخانه قلعه چای مشرف به دریاچه ارومیه بررسی شد. سپس مکانیسم خوردگی جریان (روند کاهش جریان) در طول پروفیل رودخانه به دلیل پایین رفتن تراز سطح ایستابی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق ارتباط مستقیم بین ضریب رواناب و تراز سطح ایستابی را نشان داد. میزان ضریب همبستگی (R) بین این دو عامل برای ایستگاه ینگچه واقع در ابتدای رودخانه ۰/۹ و برای ایستگاه شیشوان که در انتهای رودخانه واقع شده همبستگی ۰/۸۴ مشاهده شد. بررسی روند خوردگی جریان در طول رودخانه نشان می‌دهد که حجم جریان کاسته شده رودخانه مذکور صرف اشباع شدن ناحیه انتقال (حداصل سطح ایستابی تا کف رودخانه) می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، سطح ایستابی، جریان رودخانه، ضریب جریان، قلعه چای

Instantaneous Runoff Coefficient and Water Table Relationship and Stream Flow Reduction Mechanism along River (Case Study: Ajabshir Basin)

A Asry^{1*}, A Fakherifard², Y Dinpashoh³

Received: 5 January 2016 Accepted: 8 April 2017

1 - M.Sc. Student in Water Resources Engr., Dept. of Water Engr., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

2 - Prof., Dept. of Water Engr., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

3 - Assoc. Prof., Dept. of Water Engr. Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: asrasry@gmail.com

Abstract

Nowadays, water scarcity and frequent occurrence of droughts in Middle East countries including Iran create many problems for population of these regions. Drying off Salty Lake Urmia and its consequences is very important form the Iran and Middle East water industries. The main reason of Lake Urmia crisis is streamflow reduction of rivers leading to the lake due to excessive extraction of water resources in recent decades. Since the river-aquifer is a system with two interrelated elements, therefore, investigation of streamflow coefficient versus groundwater table relationship is necessary for streamflow forecasting. In this study, instantaneous runoff coefficient (events) and water table fluctuation relationship was checked out in two hydrometric stations located at the beginning and ending sections of Ghaleh-Chay river which discharges water to the Lake Urmia. Then, the mechanism of stream flow loss (flow reduction process) due to water level draw down was studied along the river profiles. The results of this study showed a direct relation between the runoff coefficient and the water table level. Correlation coefficient value (R) between these two factors was observed 0.9 for Yengejeh station located at the beginning section of the river and 0.84 for Shishavan station at the ending section of river. Evaluating the stream flow losses trend along the river indicates that this flow has been naturally diverted to saturate the transition zone (the zone between the water table level and stream bed).

Keywords: Ghaleh-Chay, Groundwater, Runoff coefficient, Streamflow, Water table

مقدمه

بزرگ‌ترین دریاچه داخلی کشور و دومین دریاچه آب‌شور جهان است که طی سال‌های اخیر کاهش چشمگیر سطح تراز باعث خشک شدن دریاچه در بسیاری از قسمت‌های آن شده است (صفاری و ضرغامی ۱۳۹۲). کاهش بی‌سابقه سطح آب دریاچه ارومیه در طی چند سال اخیر را می‌توان ناشی از عوامل مختلفی مانند خشکسالی‌های پی‌درپی (تغییر شرایط اقلیمی و کاهش نزولات جوی)، سدسازی، بهره‌برداری

با توجه به افت شدید تراز مخازن و دریاچه‌های کشور از جمله دریاچه ارومیه، نجات و احیای آن‌ها از مهم‌ترین مسائل صنعت آب کشور است. بررسی جریان ورودی به مخازن و سدهای کشور حاکی از این است که مقدار جریان ورودی به این مخازن طی چند سال گذشته کاهش چشمگیری داشته است. در حال حاضر حل بحران مشکل دریاچه ارومیه از اساسی‌ترین مسائل مربوط به حوضه صنعت آب است. دریاچه ارومیه،

مفهوم کلیدی در هیدرولوژی است. ضریب رواناب لحظه‌ای از قرن بیستم میلادی مورد توجه محققان گرفته است (به‌عنوان مثال شرمن ۱۹۳۲)؛ این ضریب هم‌اکنون نیز در طراحی‌های مهندسی استفاده می‌شود. ضریب رواناب لحظه‌ای می‌تواند برای مدل‌هایی که بر پایه فرکانس سیل است، استفاده شود (سیوآپلین و همکاران ۲۰۰۵). سردان و همکاران (۲۰۰۴) تعداد ۳۴۵ رویداد بارش رواناب را در سه حوضه کشور فرانسه به‌منظور بررسی تأثیر مساحت روی سری زمانی رواناب مطالعه کردند. نتایج حاکی از این بود که با افزایش مساحت حوضه ضریب رواناب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. دوس ریز کاسترو و همکاران (۱۹۹۹) ضریب رواناب را در مقیاس‌های مختلف مقایسه کرده و حدود تغییرات ضریب رواناب را برای اراضی کوچک تا حوضه‌های با مساحت چندین کیلومترمربع در اراضی بازالتی جنوب برزیل بررسی کرد. گاتسچالک و وین ارتنر (۱۹۹۸) ضریب رواناب ۱۹۲ رویداد سیل را در ۱۷ حوضه سویس بررسی کرده و در تعیین مدل‌های فرکانس سیل مورد استفاده قرار دادند. آنان توزیع بتا را بر ساختار ضریب رواناب هر حوضه برازش داده و پارامترهای مناطق مختلف هیدرولوژیکی را تفسیر نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که اختلاف در ضریب رواناب می‌تواند بر اساس خصوصیات فیزیوگرافی تعدادی از زیر حوضه‌ها توضیح داده شود. مرز و همکاران (۲۰۰۶) مقادیر ضریب رواناب را با استفاده از داده‌های ساعتی رواناب، بارندگی و نیز تخمین‌هایی از بارش برف محاسبه کردند، نتایج مطالعه آنان نشان داد که توزیع مکانی ضریب رواناب، همبستگی شدیدی با میانگین بارش سالانه داشته ولی با نوع خاک و کاربری اراضی وابستگی بسیار کمی دارد. لینکون و همکاران (۲۰۰۷) عوامل اقلیمی مؤثر (بارش و دما) بر ضریب رواناب بررسی کرده و دریافتند که ارتباط بارش و ضریب رواناب به‌صورت مستقیم و دما و ضریب رواناب به‌صورت معکوس است. پرهمت و همکاران (۱۳۹۳) رابطه ضریب رواناب و شدت بارش را در اراضی مرتعی بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش شدت بارندگی، حجم رواناب تولیدشده به‌طور مؤثر افزایش پیدا کرده است. جمشیدنژاد عنبرانی (۱۳۷۷) روش‌های تخمین ضرایب رواناب در حوضه‌های آبریز دریای خزر را مقایسه کرد. نتایج حاکی از آن بود که ضرایب رواناب

بی‌رویه از منابع آب حوضه، افزایش دما و تبخیر از سطح دریاچه، پایین بودن راندمان آب آبیاری در کشاورزی و کاهش مقدار جریان ورودی (مجموع جریانات سطحی و بارندگی) بر سطح دریاچه نسبت به جریانات خروجی از آن (تبخیر) دانست. پدیده کاهش جریان و مشکل خوردگی جریان رودخانه‌ها در طول پروفیل رودخانه از مهم‌ترین مشکلات رودخانه‌های منتهی به سدها و دریاچه‌های حیاتی کشور ازجمله دریاچه ارومیه است. مسئله مورد مطالعه در این پژوهش کاهش جریان رودخانه‌های، ورودی به دریاچه ارومیه است. با توجه به این‌که رودخانه‌ها در مسیر حرکت خود با منابع آب زیرزمینی در ارتباط هستند؛ بنابراین این کاهش جریان رودخانه‌ها علاوه بر تأثیر برداشت‌های سطحی می‌تواند ناشی از افت چشمگیر تراز سطح ایستابی در اثر برداشت منابع آب زیرزمینی باشد. در این مطالعه با بررسی اثر نوسانات تراز سطح ایستابی بر ضریب رواناب لحظه‌ای رودخانه، ارتباط متقابل این دو عامل بررسی شد. علت انتخاب بارش- رواناب لحظه‌ای کمترین اثرات مصارف حوضه در آب‌های سطحی است تا بتوان تأثیر طبیعی کاهش سطح آب زیرزمینی را روی جریان سطحی رودخانه مشخص نمود. به این معنی که در بالادست رودخانه جریان بزرگی تشکیل شده و با پیشروی جریان در طول رودخانه (علاوه بر برداشت‌های سطحی) به‌علت پایین بودن تراز سطح ایستابی و ارتباط هیدرولیکی قوی بین رودخانه و تراز سطح ایستابی معمولاً جریان تشکیل شده صرف پر کردن ناحیه انتقال که در واقع حداقل سطح ایستابی تا کف رودخانه است، می‌شود طوری که مقدار ضریب رواناب لحظه‌ای رویدادها در ایستگاه پایین‌دست رودخانه شدیداً کاهش می‌یابد؛ بنابراین، شناخت هیدرولیکی تغییرات جریان در کف رودخانه‌ها از ضروریات علم مهندسی آب محسوب می‌شود. در رودخانه‌های دائمی ناحیه انتقال دائماً اشباع بوده، اما در رودخانه فصلی مانند رودخانه‌ای که در این مطالعه بررسی شده این ناحیه در فصل خشک، خالی از آب بوده و با تشکیل جریان این ناحیه شروع به اشباع شدن می‌نماید؛ بنابراین، جریان در طول پیشروی در رودخانه، کف رودخانه را اشباع می‌کند تا اینکه مقدار جریان بسیار ناچیز شده و در انتهای رودخانه عملاً جریان قابل‌توجهی برای وارد شدن به دریاچه و یا سد وجود ندارد. واضح است که ضریب رواناب لحظه‌ای یک

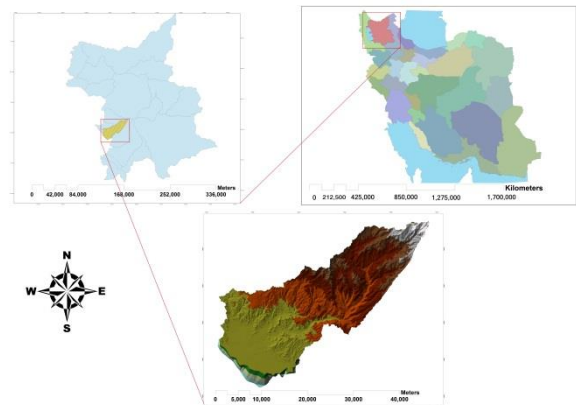
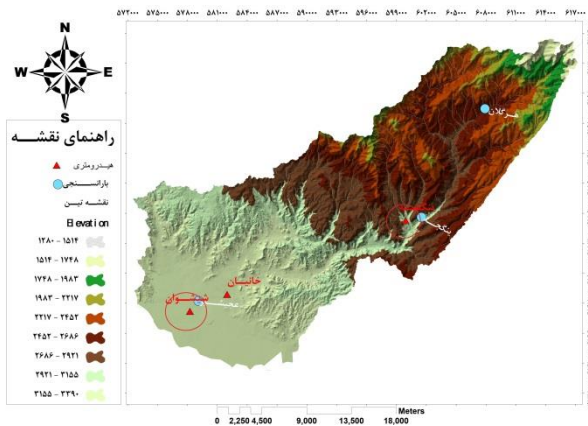
شرق و جنوب به محدوده مطالعاتی مراغه- بناب و از جنوب غرب به دریاچه ارومیه محدود می‌گردد. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. وسعت کل محدوده مطالعاتی عجب‌شیر برابر ۵۹۰ کیلومترمربع است که حدود ۱۳۱ کیلومترمربع آن را دشت عجب‌شیر تشکیل می‌دهد. رودخانه قلعه چای، مهم‌ترین رودخانه محدود است که از کوه سهند سرچشمه می‌گیرد و در راستای شمال شرقی- جنوب غربی جریان یافته و پس از گذر از دشت عجب‌شیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و باران-سنجی منطقه آورده شد. پس از بررسی داده‌های ایستگاه‌های موجود در منطقه، دو ایستگاه هیدرومتری ینگجه و شیشوان که موقعیت آن‌ها به ترتیب در بالادست و پایین‌دست رودخانه قلعه‌چای واقع شده برای این مطالعه انتخاب شد.

به‌دست‌آمده از روش منطقی کمتر از مقادیر داده‌شده در مراجع معتبر (روش استدلالی-احتمالی) بود. در مناطق گرم و خشک آب‌های زیرزمینی کمک اساسی برای حفظ جریان رودخانه به‌خصوص در دوره‌های خشک هستند. از آنجاکه خروج آب‌های زیرزمینی بر روی تغذیه رودخانه تأثیر می‌گذارد بنابراین درک و شناخت ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و سفره آب زیرزمینی به‌منظور حفظ جریان رودخانه امری ضروری است. پیفستر و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های بارش-رواناب و سطح تراز ایستابی حوضه رودخانه آلزیتی^۱ مقدار تغذیه آب زیرزمینی را تخمین زدند. ایشان با استفاده از معادله بیلان، میزان تغذیه آب زیرزمینی را بررسی و رابطه رگرسیونی آن را با ضریب رواناب رودخانه در طی بارش‌های زمستانه استخراج نمود که میزان همبستگی ۰/۷۵ برای رابطه در حالت اشباع حوضه مشاهده شد. منسیو و همکاران (۲۰۱۴) ارتباط بین رودخانه و سفره آب زیرزمینی را با دو روش تبادل جرم و روش قانون داریسی در مناطق مدیترانه‌ای بررسی نمودند که نتایج حاکی از مکمل بودن دو روش مذکور بود. هدف از این مطالعه حاضر نشان دادن ارتباط متقابل ضریب رواناب رودخانه قلعه‌چای با سطح تراز ایستابی است تا بتوان به با توجه به روابط و معادلات به‌دست آمده با کنترل تراز سطح ایستابی، جریان رودخانه را جهت رسیدن به مصب آن (دریاچه ارومیه) هدایت کرده و همچنین میزان خوردگی جریان در طول رودخانه به‌دلیل پایین افتادن سطح تراز ایستابی را تخمین زد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به‌عنوان ابزار مدیریتی جهت احیای مخازن، سدها و دریاچه‌های کشور مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

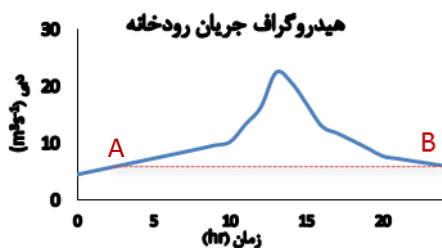
محدوده مطالعاتی عجب‌شیر در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که یکی از حوضه‌های سی‌گانه کشور می‌باشد، واقع شده است. این محدوده از شمال و شمال غرب به محدوده‌های مطالعاتی آذرشهر و شیر آمین، از

¹ Alzette

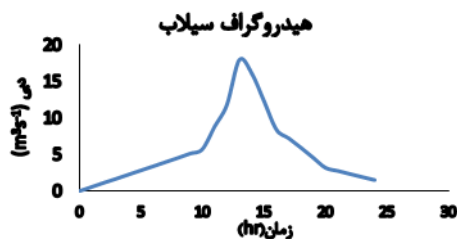


شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری.

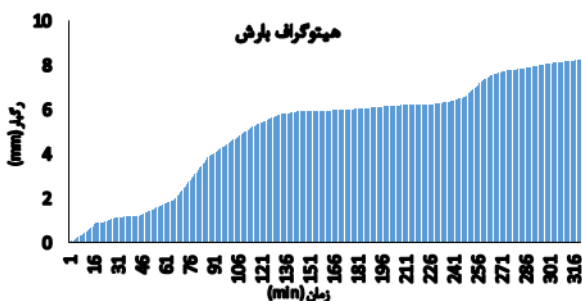
شکل ۱- موقعیت دشت عجب‌شیر.



شکل ۳- هیدروگراف جریان رودخانه.



شکل ۴- هیدروگراف سیلاب مستقیم.



شکل ۵- هیئوگراف رگبار (بارش تجمعی).

ضریب رواناب همواره به‌عنوان بخشی از بارش که تبدیل به جریان می‌شود تعریف شده است. منظور از ضریب رواناب لحظه‌ای، آن بخش از یک رگبار ثبت شده است که مستقیماً به سیلاب (در رودخانه) تبدیل می‌شود (چاو و همکاران ۱۹۸۸). ضریب رواناب لحظه‌ای (ضریب رواناب رویدادهای رگبار-سیلاب) درک درستی از پاسخ هیدرولوژیک حوضه نسبت به رگبار اتفاق افتاده است (سیوایپن و همکاران ۲۰۰۵). به‌منظور بررسی این رویدادها ابتدا دبی پایه^۲ (دبی قبلی) رودخانه از دبی کل سیل کسر شود. سپس حجم جریان متناظر با رواناب مستقیم با حذف اثر زمان محاسبه شده و با تقسیم حجم رواناب به مساحت حوضه ایستگاه هیدرومتری موجود ارتفاع جریان به‌دست‌آمد، با تقسیم ارتفاع جریان بر مجموع ارتفاع بارش همزمان آن ضریب رواناب لحظه‌ای از رابطه ۱ تعیین گشت. در این رابطه زیر^۳ $FC(E)$ ضریب رواناب رویدادها، R ارتفاع سیلاب برحسب میلی‌متر و P ارتفاع رگبار رخ داده در همان روز (برحسب میلی‌متر) است.

$$FC(E) = \frac{R}{P} \quad [1]$$

در شکل‌های ۳ و ۴ نحوه جداسازی هیدروگراف جریان و همچنین هیئوگراف بارش در حوضه عجب‌شیر نشان داده شده است.

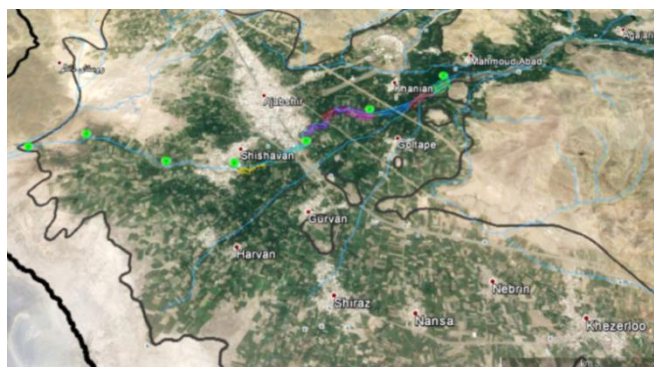
² Base flow

³ Flow coefficient of event

رودخانه و در ناحیه دشت عجب‌شیر انتخاب شد که مشخصات این مقاطع در جدول شماره ۱ آورده شده و ارتفاع نقاط مذکور، با استفاده از نقشه DEM منطقه استخراج گردید. پس از به دست آوردن ارتفاع نقاط، ارتفاع ناحیه انتقال از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$D = H_0 - H_1 \quad [2]$$

در معادله بالا، D ارتفاع ناحیه انتقال برحسب متر، H_0 تراز سطح زمین در مقطع موردنظر مستخرج از نقشه DEM منطقه برحسب متر، H_1 تراز سطح ایستابی در مقطع موردنظر هستند.



شکل ۶- موقعیت نقاط انتخابی بر روی رودخانه اصلی با استفاده از Google Earth.

هدف از انتخاب ضریب رواناب لحظه‌ای عدم دخالت مصارف سطحی و زیرزمینی در ضریب رواناب است تا اثر مصارف و ذخایر جانبی حوضه روی این عوامل کاهش یابد. پس از به دست آوردن ضریب رواناب لحظه‌ای رویدادهای تراز سطح ایستابی در تاریخ مذکور استخراج و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS به دست آمد. پس از به دست آوردن همبستگی ارتباط، معنی‌داری رابطه با استفاده از شاخص P-VALUE محاسبه گشت. به منظور تدقیق این ارتباط بایستی تراز سطح ایستابی را در محل رودخانه قلعه‌چای و اطراف آن تخمین زد و پیژومترهایی انتخاب شود که تأثیرپذیری زیادی از رودخانه داشته باشد. به کمک نرم‌افزار Arc-GIS نزدیک‌ترین پیژومترها به رودخانه شناسایی و انتخاب شد. بررسی ضریب رواناب لحظه‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که مقدار ضریب رواناب لحظه‌ای در انتهای رودخانه به شدت کاهش می‌یابد. در ادامه، پدیده خوردگی جریان در کف رودخانه مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر این پدیده روی کاهش جریان رودخانه مطالعه شود؛ بنابراین هفت مقطع در طول

جدول ۱- مشخصات مقاطع انتخابی در طول رودخانه.

| مقطع | پیژومترهای نشانگر ارتفاع سطح ایستابی | مختصات مقطع | | ارتفاع مقطع (m) | عرض مقطع (m) |
|------|--|-------------|--------|-----------------|--------------|
| | | UTM Y | UTM X | | |
| ۱ | گل‌تپه ورنجق | ۴۸۴۱۸۱۱ | ۵۸۳۰۳۰ | ۱۳۱۳ | ۹۷/۷ |
| ۲ | گل‌تپه میدان ورزش | ۴۱۴۷۸۰۵ | ۵۸۱۳۳۹ | ۱۳۰۴ | ۵۸/۷ |
| ۳ | عجب‌شیر کنار قلعه‌چای | ۴۱۴۶۹۳۶ | ۵۷۹۹۸۱ | ۱۲۹۲/۵ | ۵۷/۶۱ |
| ۴ | شیشوان+شیشوان سفره آزاد+ شیشوان میدان ورزش | ۴۱۴۶۳۵۵ | ۵۷۸۵۲۹ | ۱۲۸۵ | ۲۹/۲۹ |
| ۵ | شیشوان سفره آزاد+ شیشوان میدان ورزش | ۴۱۴۶۳۹۲ | ۵۷۷۱۴۶ | ۱۲۸۳ | ۳۳/۱۱ |
| ۶ | دانلو | ۴۱۴۷۰۸۸ | ۵۷۵۴۰۰ | ۱۲۷۷ | ۲۷/۶ |
| ۷ | تراز سطح ایستابی دریاچه ارومیه | ۴۱۴۶۷۳۷ | ۵۷۴۲۶۹ | ۱۲۷۵ | ۲۲/۴ |

زیرگروه به صورت تجربی ارائه می دهد. با استفاده از جدول چاو ضریب زبری برای رودخانه به طور متوسط ۰/۴۵ فرض گردیده است. پس از تعیین عمق جریان باید با توجه به دبی رودخانه و سرعت جریان، مدت زمان تماس آب در هر مقطع از رودخانه با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$V = \frac{Q}{A} \quad [5]$$

$$t = \frac{X_1}{V} - \frac{X_2}{V} \quad [6]$$

X_1 فاصله مقطع اول از ابتدای رودخانه و X_2 فاصله مقطع دوم از ابتدای رودخانه برحسب متر است. با جایگذاری این مدت زمان در معادلات نفوذ عمق آب نفوذ یافته به دست آمد. با توجه به آبرفتی بودن رودخانه و بافت خاک غالب منطقه و نتایج تحقیقات نشاط و پاره کار (۱۳۸۵)، بافت خاک در کف رودخانه لومی شنی در نظر گرفته شد و معادله نفوذ در خاک لومی شنی از آزمایش های انجام شده توسط شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور استخراج گردید (نشاط و پاره کار ۱۳۸۴). در این معادله I عمق نفوذ جمعی (cm) و t مدت زمان نفوذ آب در رودخانه است.

$$t = t_1 \rightarrow D = I = 0.664(t_1)^{0.777} + 0.6985 \quad [7]$$

در نهایت، با جایگذاری فرصت تماس در معادله نفوذ به دست آمده، ارتفاع جمعی نفوذ در واحد طول رودخانه برای هر مترمربع از مقطع محاسبه شده و با ضرب این عدد در فاصله بین دو مقطع و متوسط عرض رودخانه بین مقاطع، حجم خوردگی جریان اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

بررسی رویدادها نشان داد که در مجموع در منطقه ۸ رویداد همزمان بارش رواناب در ایستگاه های هیدرومتری مذکور ثبت شده است؛ بنابراین ضریب رواناب لحظه ای این رویدادها را برای هر دو ایستگاه ینگجه و شیشوان محاسبه و نمودار نحوه تغییرات ضریب رواناب لحظه ای در طول زمان برای هر دو ایستگاه هیدرومتری (شکل ۷) رسم شد.

با استفاده از معادله ۳ عمق آب مورد نیاز برای پر کردن ناحیه انتقال حاصل شد که در این معادله S ضریب نخیره (بی بعد)، D ارتفاع ناحیه انتقال و h عمق آب مورد نیاز برای پر کردن ناحیه انتقال برحسب متر است. حجم آب مورد نیاز برای پر کردن ناحیه انتقال از رابطه زیر حاصل شد:

$$h = D \times S \quad [3]$$

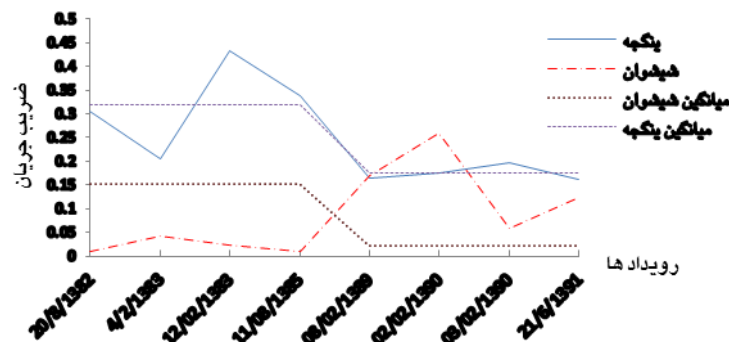
در نهایت به منظور بررسی دبی جریان و آگاهی از این مسئله که جریان موجود در رودخانه با توجه به سرعت آب در هر مقطع، چه ارتفاعی از ناحیه انتقال را اشباع می نماید، از روش زیر استفاده شد. با بررسی سیلاب های تشکیل شده در منطقه، حجم خوردگی سیلاب رودخانه به منظور پر کردن ناحیه انتقال در مقاطع انتخابی بررسی شد. عمق جریان به صورت مستقیم از رابطه زیر (مستخرج از فرمول مانینگ) به دست آمد.

$$Y = \left(\frac{nQ}{B\sqrt{S}} \right)^{2/3} \quad [4]$$

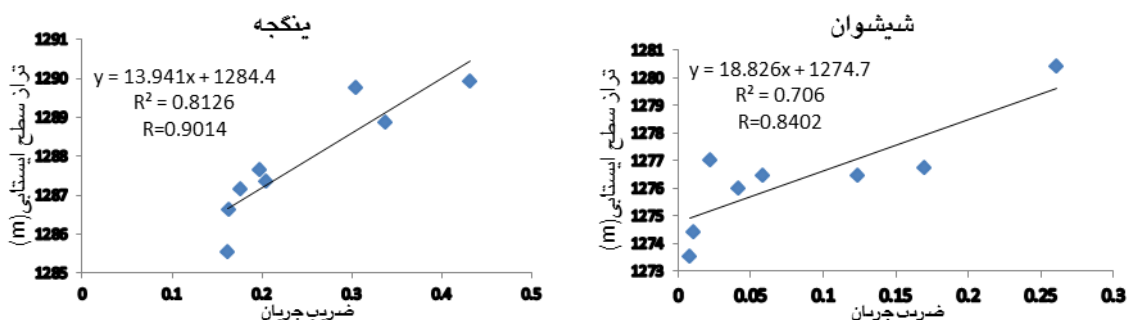
در این رابطه، Y عمق جریان رودخانه، B عرض مقطع رودخانه، Q دبی جریان، S شیب حوضه و n ضریب زبری مانینگ است. عرض مقاطع رودخانه با استفاده از نقشه حریم رودخانه قلعه چای که توسط شرکت مهندسی مشاور پی آب غرب شمال غرب اندازه گیری شده است، محاسبه شد. شیب هر مقطع از رودخانه از تقسیم اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای رودخانه بر طول مقطع مدنظر حاصل می شود. ضریب زبری مانینگ تابعی از چند عامل مختلف است. برخی از این عوامل تابع شرایط هیدرولوژیکی نظیر رژیم جریان نیز است (بی نام ۱۳۹۰). چاو (۱۹۸۱) بر اساس تجربیات و تحقیقات میدانی خود و سایر پژوهشگران جدولی را برای تعیین ضریب زبری کانال ها و رودخانه ها ارائه نمود. این جدول آبراهه ها را به گروه ها و زیرگروه هایی طبقه بندی نموده و ضریب مانینگ را برای شرایط مختلف هر گروه و

سطح مذکور معنی‌دار است. بررسی نمودار شکل ۸ نشان می‌دهد که ضریب رواناب لحظه‌ای ایستگاه ینگجه به مراتب بیشتر از ایستگاه شیشوان در پایین‌دست رودخانه است و این کاهش ضریب رواناب می‌تواند صرف‌نظر از عامل برداشت، نتیجه خوردگی جریان در طول رودخانه باشد. مطالعه نقش خوردگی جریان در کاهش ضریب رواناب رودخانه به‌طور مستقل از اثرات مصارف، از طریق روندیابی قطعه‌ای با دخالت دادن معادله نفوذ انجام پذیرفت. شکل ۹ تغییرات ارتفاع ناحیه انتقال را از لحاظ زمانی و مکانی نشان می‌دهد. بررسی تغییرات زمانی این نمودار نشان می‌دهد در هر مقطع باگذشت زمان و به دلیل خشکسالی‌های پی‌درپی و برداشت بی‌رویه از منابع آب ارتفاع این ناحیه افزایش پیدا کرده است به این معنی که تراز سطح ایستابی از تراز آب موجود در رودخانه پایین‌تر رفته و رودخانه آب زیرزمینی را تغذیه می‌کند.

ارتباط ضریب رواناب لحظه‌ای با تراز سطح ایستابی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که بین این دو عامل ارتباط مستقیم وجود دارد. طوری که با افزایش تراز سطح ایستابی، ضریب رواناب افزایش می‌یابد. روابط رگرسیونی استخراج شده بین ضریب رواناب و تراز سطح ایستابی همبستگی بالایی را در محدود معنی‌دار نشان داد. بررسی رابطه رگرسیونی در ایستگاه ینگجه نشان داد ضریب رواناب همبستگی بالایی با تراز سطح ایستابی (در حدود $R=0.901$) دارد. مقدار $P=0.001$ VALUE= برای این ارتباط، معنی‌داری رابطه را در سطح ۰/۰۱ نشان داد. برای ایستگاه شیشوان در پایین‌دست رودخانه و داخل دشت عجب‌شیر که برداشت از منابع آب زیرزمینی بسیار بالا است، مقدار ضریب رواناب لحظه‌ای عدد کوچکی بوده و همبستگی آن با سطح تراز ایستابی، $R=0.84$ است. شاخص $P\text{-VALUE}=0.0075$ در سطح ۰/۰۱ برای رابطه فوق نشان می‌دهد که رابطه در



شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب رواناب لحظه‌ای در دو ایستگاه هیدرومتری ینگجه و شیشوان.



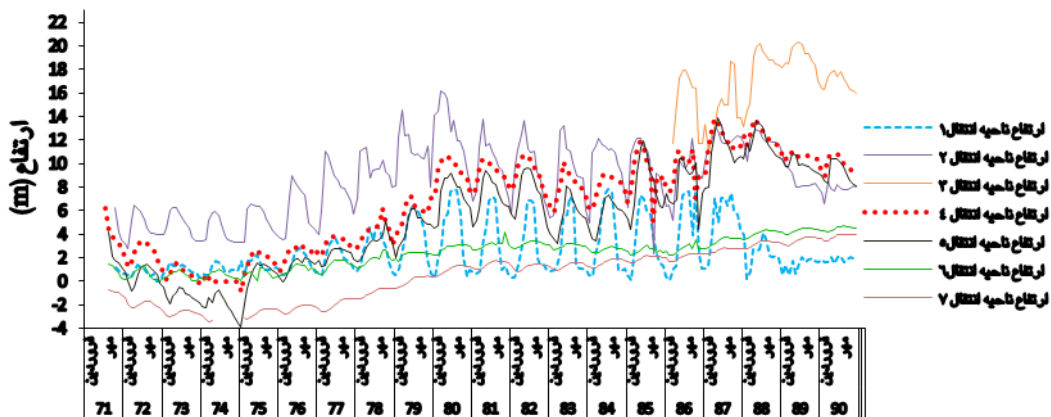
شکل ۸- نمودار ارتباط ضریب رواناب لحظه‌ای با تراز سطح ایستابی.

رودخانه توسط سفره آب زیرزمینی انجام می‌شود. بررسی تغییرات مکانی ارتفاع ناحیه انتقال در مقاطع مختلف در مقیاس ماهانه نشان داد که با پیشروی در

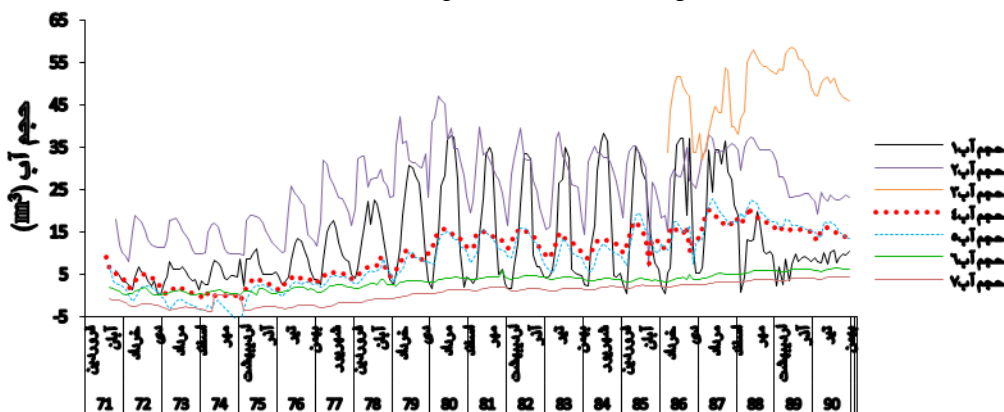
برای مقاطع و ماه‌های که این ارتفاع منفی شده است، بیان‌گر این موضوع است که ارتفاع تراز سطح ایستابی بیشتر از تراز آب موجود در رودخانه بوده و تغذیه

همان‌طور که شکل ۱۱ این مسئله را تأیید می‌کند با حرکت از مقطع چهارم به سمت انتهای رودخانه بنا به دلایلی که در زیر آورده شد، برداشت از منابع آب زیرزمینی کاهش، بنابراین تراز سطح ایستابی با حرکت به سمت مصب رودخانه افزایش یافت. با پیشروی در رودخانه به تبع کاهش ارتفاع ناحیه انتقال در هر مقطع، عمق و درنهایت حجم آب موردنیاز برای پر شدن ناحیه انتقال در طول زمان برای هر مقطع کاهش می‌یابد. لذا مشکل خوردگی جریان در طول بستر رودخانه علاوه بر دلایل احداث سد روی رودخانه، برداشت و مصارف از جریان رودخانه به نظر می‌رسد حجم زیادی از جریان صرف اشباع شدن ناحیه انتقال با پیشروی در طول رودخانه می‌شود.

طول رودخانه و حرکت از مقطع اول تا مقطع سوم به دلیل کاهش تراز سطح ایستابی، ارتفاع ناحیه انتقال افزایش می‌یابد. لیکن با حرکت از مقطع سوم به سمت مقطع چهارم و انتهای رودخانه با افزایش سطح تراز ایستابی ارتفاع ناحیه انتقال کاهش می‌یابد. در نمودار شکل ۹ تغییرات ارتفاع ناحیه انتقال مقاطع انتخابی و نمودار شکل ۱۰ تغییرات حجم آب موردنیاز آورده شد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد در سه مقطع اول با پیشروی در طول رودخانه ارتفاع ناحیه انتقال و به تبع آن حجم آب موردنیاز برای اشباع کردن ناحیه انتقال افزایش می‌یابد. طوری‌که در مقطع سوم حجم آب موردنیاز برای اشباع کردن ناحیه انتقال بیشتر از مقطع دوم و در مقطع دوم بیشتر از مقطع اول است؛ در چهار مقطع بعدی که از ایستگاه شیشوان شروع می‌شود،



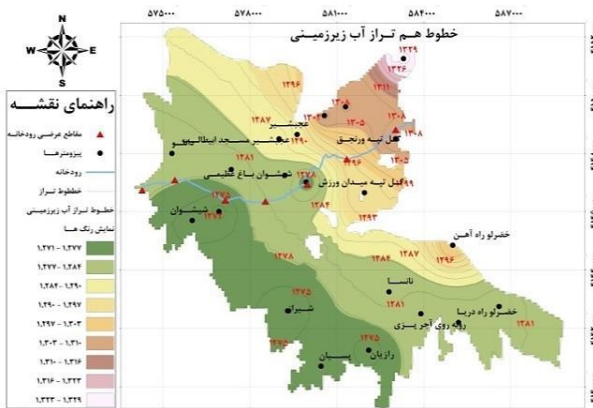
شکل ۹- نمودار ارتفاع ناحیه انتقال در مقاطع عرضی رودخانه قلعه چای.



شکل ۱۰- نمودار حجم ناحیه انتقال در مقاطع عرضی رودخانه قلعه چای.

در این شکل مشاهده می‌شود تراز آب زیرزمینی به علت برداشت از منابع آب زیرزمینی با حرکت از مقطع اول به سمت مقطع سوم کاهش می‌یابد. در کلیه مقاطع

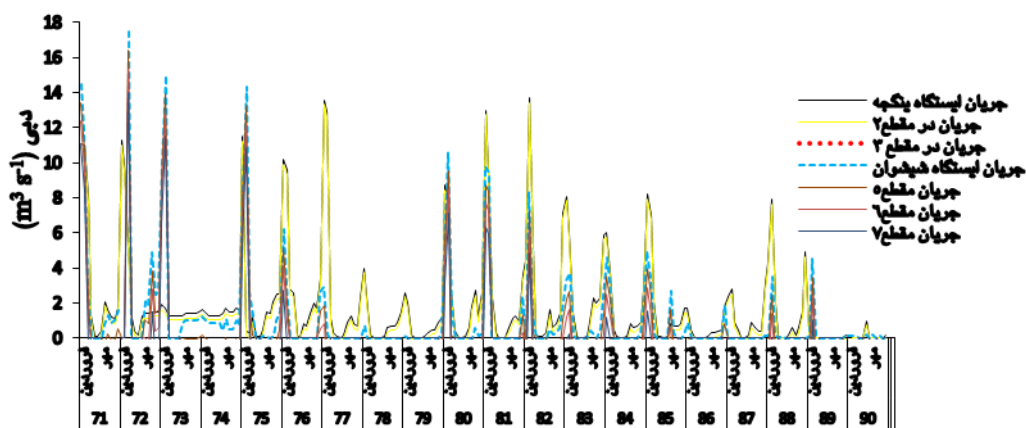
این پدیده با نمودار شکل ۱۱ که میانگین رژیم سالانه خطوط ایزوپیز (دوره آماری ۸۰-۹۰) در دشت عجب‌شیر را نشان می‌دهد قابل توجیه است. همان‌طورکه



شکل ۱۱- وضعیت خطوط ایزوپیز برای دشت عجب شیر.

پدیده خوردگی جریان برای اشباع شدن ناحیه انتقال در طی پیشروی در رودخانه به چند عامل مهم وابسته است که در زیر به بررسی آن‌ها پرداخته شده است. نخستین عامل ارتفاع ناحیه انتقال در مقطع است که قبلاً به آن پرداخته شد. عامل دیگر دبی و سرعت حرکت آب در مقطع موردنظر است. دبی جریان در هر مقطع با کم کردن حجم خوردگی جریان در مسیر رودخانه از دبی ایستگاه ماقبل محاسبه شد. پس از به دست آوردن سرعت جریان آب در رودخانه، فرصت تماس آب با مقطع حاصل شده و با جایگذاری فرصت تماس آب در معادله نفوذ، حجم آب نفوذیافته در هر مقطع محاسبه شد که نمودار تغییرات آن در شکل ۱۲ آمده است.

انتخاب شده روی رودخانه به نظر می‌رسد بین سال‌های ۸۸ تا ۹۰ به دلیل کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی شور شدگی برخی چاه‌های منطقه و بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سد قلعه چای مصارف و تمایل به برداشت از منابع آب زیرزمینی کاهش یافته و با افزایش سطح تراز ایستابی ارتفاع ناحیه انتقال و به تبع آن حجم آب لازم برای اشباع کردن ناحیه انتقال در کلیه مقاطع کاهش پیدا کرده است. نمودار شکل ۱۲ که حجم آب موردنیاز برای هر مقطع به صورت میانگین ماهانه یا رژیم ماهانه است، نشان می‌دهد که حجم آب برای هر مقطع با پیشروی در مسیر رودخانه افزایش می‌یابد؛ اما چهار مقطع واقع در جنوب دشت با توجه به شور شدن آب بیشتر چاه‌های دشت، برداشت از منابع آب زیرزمینی در این محدوده کاهش می‌یابد بنابراین حجم آب موردنیاز برای اشباع شدن ناحیه انتقال در مقایسه با بالادست کاهش پیدا می‌کند. پس از بررسی حجم و ارتفاع ناحیه انتقال در طی پیشروی به سمت مصب رودخانه پدیده کاهش جریان رودخانه (خوردگی جریان در طول رودخانه) به دلیل اشباع کردن ناحیه انتقال بررسی شد.



شکل ۱۲- نمودار کاهش دبی جریان در طول رودخانه قلعه چای.

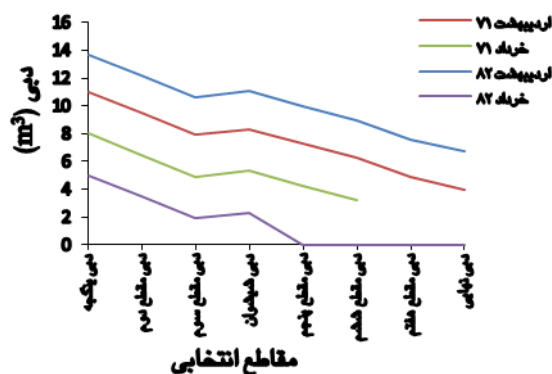
نشان می‌دهد. این نمودار حاکی از این است که در هر بازه زمانی، ناحیه پر شده توسط جریان رودخانه بافاصله گرفتن از ابتدای رودخانه کاهش می‌یابد که به نظر می‌رسد علت آن به دلیل کاهش جریان در مقاطع

بررسی مکانی این روند کاهش دبی جریان در رودخانه‌ها را برای بالادست رودخانه تا مصب رودخانه نشان می‌دهد، اما بررسی زمانی این نمودار برای کلیه مقاطع کاهش روند جریان در طول زمان را

دارد طوری که با افزایش تراز سطح ایستابی ضریب رواناب رودخانه افزایش و با کاهش سطح تراز، ضریب رواناب کاهش می‌یابد، پس اندرکنش مستقیم دو عامل مذکور را نشان می‌دهد.

همچنین مقایسه ضریب رواناب برای دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین‌دست رودخانه، کاهش این ضریب را در ایستگاه پایین‌دست یعنی ایستگاه شیشوان در اثر بارش یکسان نشان می‌دهد و این می‌تواند صرف‌نظر از اثر سایر عوامل مذکور در متن در نتیجه نقش خوردگی جریان در مسیر رودخانه به دلیل پایین بودن تراز سطح ایستابی باشد. در ادامه نقش خوردگی جریان در طول رودخانه، به دلیل اشباع کردن ناحیه انتقال توسط جریان رودخانه نشان داده شد. نتایج مطالعه‌ی پیفستر (۲۰۰۲) در حوضه رودخانه آلزیتی ارتباط مستقیم ضریب رواناب رودخانه را با میزان تغذیه آب زیرزمینی نشان داد، این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مؤکد نتایج مطالعه حاضر موردتوجه قرار گیرد. از نظر مدیریتی این مسئله برای حوضه عجب‌شیر که یکی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه است دارای اهمیت ویژه‌ای است؛ بنابراین به‌منظور احیای دریاچه ارومیه و همچنین مخازن آب کشور توصیه می‌شود با بالا بردن تراز سطح ایستابی با استفاده از طرح‌های تغذیه مصنوعی، کنترل برداشت‌ها و در موارد خاص لوله‌گذاری یا بسترسازی خاص در رودخانه‌ها، ارتفاع ناحیه انتقال کاهش‌یافته تا جریان تشکیل‌شده در ابتدای رودخانه بتواند به مصب رودخانه و دریاچه انتقال یابد.

است. برای نشان دادن روند خوردگی جریان در رودخانه، در چهار مقطع زمانی و با دبی ابتدای متفاوت روند کم شدن دبی جریان در مقاطع رسم شده و در نمودار شکل ۱۳ آورده شده است. جریان در هر مقطع رودخانه از اختلاف جریان در مقطع قبلی با حجم آب‌خورده شده در فاصله بین دو مسیر حاصل گردید. با دقت در این نمودار مشاهده می‌شود که مقدار دبی در این رودخانه به‌شدت کاهش می‌یابد طوری که در خرداد ۸۲ دبی رودخانه تا مقطع پنجم رودخانه می‌رسد و تمام حجم دبی رودخانه، صرف‌نظر از برداشت‌ها صرف خوردگی جریان توسط ناحیه انتقال می‌شود.



شکل ۱۳- نمودار کاهش دبی و خوردگی جریان در یک‌زمان مشخص در رودخانه قلعه چای.

نتیجه‌گیری کلی

رابطه‌ی بین ضریب رواناب لحظه‌ای و تراز سطح ایستابی به دلیل ناچیز بودن اثر مصارف روی ضریب رواناب لحظه‌ای بسیار حائز اهمیت است. بررسی روابط رگرسیونی برای دو ایستگاه هیدرومتری شیشوان و ینگه نشان می‌دهد که بین ضریب رواناب لحظه‌ای رودخانه با تراز سطح ایستابی رابطه مستقیم وجود

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2011. Guideline for Determination of the Hydraulic Roughness Coefficient of Rivers, Guidelines for determining the roughness coefficient of the rivers, Ministry of Energy, Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental standards of water and waste water, Office of Engineering and Technical Measures of ABFA 688-A.
- Cerdan O, Le Bissonnais Y, Govers G, Leconte V, van Oost K, Couturier A, King C and Dubreuil N, 2004. Scale effects on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. Journal of Hydrology 299: 4-14.

- Chow VT, 1981. Open Channel Hydraulics. Mc Graw – Hill Limited, London.
- Chow VT, Maidment D, Mays L, 1988. Applied hydrology. McGraw- Hill, New York.
- Dos Reis Castro NM, Auzet AV, Chevallier PH and Leprun JC, 1999. Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. *Journal of Hydrology* 13: 1621–1628.
- Gottschalk L and Weingartner R, 1998. Distribution of peak flow derived from a distribution of rainfall volume and runoff coefficient, and a unit hydrograph. *Journal of Hydrology* 208: 148–162.
- Jamshidndeh Anbarani J, 1998. Estimation of Runoff Coefficient in Caspian Basin. Master's degree in irrigation and drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University.
- Liqun CH, Changming L, Yanping L and Guoqiang W, 2007. Impacts of Climatic Factors on Runoff Coefficients in Source Regions of the Huanghe River. *Journal of Chinese Geographical Science* 17(1): 47-55.
- Merz R, G Bloschl and J Parajka, 2006. Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Wien, Austria.
- Menció A, Galán M, Boix D and Mas-Pla J, 2014. Analysis of stream–aquifer relationships: A comparison between mass balance and Darcy's law approaches. *Journal of Hydrology* 517: 157-172.
- Neshat A and Porehkar, 2005. Report of the research project on the comparison of methods for determining the velocity of water penetration in the soil, engineering services Soil and Water Iran p. 118.
- Neshat A and Porehkar M, 2006. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14(3): 35–45.
- Pfister L, Iffly JF, Humbert J and Hoffmann L, 2002. The role of groundwater resurgence on runoff coefficients of the Alzette River (Grand-duchy of Luxembourg). ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia.
- Porhemat J, Abbasi A, Khoshbazzm A, 2014. Investigate the relationship between runoff coefficient and rainfall intensity on pasture land (Case study: Sanganeh Kalaat). *Journal of Rainwater Catchment Systems* 2 (1): 61-67.
- Saffari N, Zarghami M, 2013. Allocating the Surface Water Resources of the Urmia Lake Basin to the Stakeholder Provinces by Distance Based Decision Making Methods, *Water and Soil Science- University of Tabriz* 23: 135-149.
- Sivapalan M, G Bloschl Merz R and Gutknecht D, 2005. Linking flood frequency to long-term water balance: incorporating effects of seasonality. *Water Resources Research* 41(6): W6012.
- Sherman L, 1932. Stream flow from rainfall by unit hydrograph method. *Journal of Engineering News Records* 108: 501-50.